

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# ⑫ Offenlegungsschrift ⑩ DE 100 32 607 A 1

⑤ Int. Cl. 7:  
H 01 J 37/  
H 01 J 37/28  
F 04 D 19/04

⑪ Aktenzeichen: 100 32 607.2  
⑫ Anmeldetag: 7. 7. 2000  
⑬ Offenlegungstag: 24. 1. 2002

⑪ Anmelder:  
Leo Elektronenmikroskopie GmbH, 73447  
Oberkochen, DE

⑫ Erfinder:  
Drexel, Volker, 89551 Königsbrunn, DE; Gnaul  
Peter, 72764 Reutlingen, DE

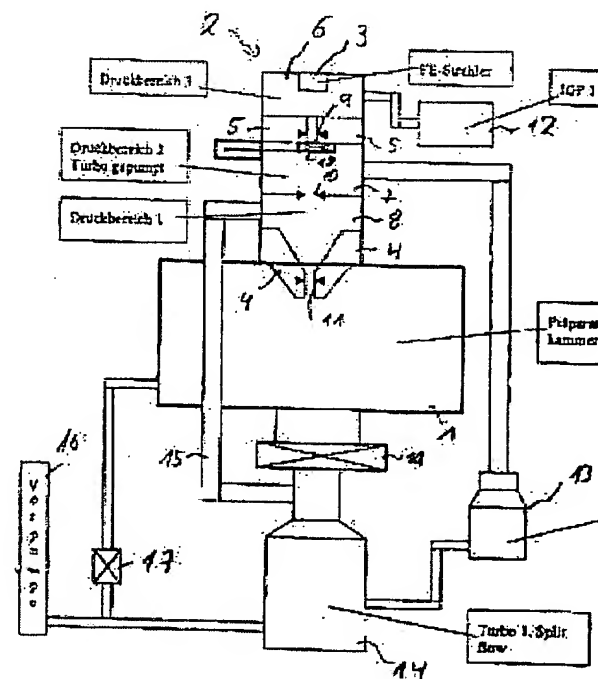
⑬ Entgegenhaltungen:  
DE 43 31 589 A1  
US 58 28 064 A  
US 57 17 204 A  
US 48 89 995  
US 47 20 633

Jap. Journ. of Appl. Phys., Suppl. 2, Pt. 1  
(1974) S. 249-252;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen  
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑬ Teilchenstrahlgerät mit einer im Ultrahochvakuum zu betreibenden Teilchenquelle und kaskadenförmig  
Pumpenordnung für ein solches Teilchenstrahlgerät

⑬ Die vorliegende Erfindung betrifft ein Teilchenstrahlge-  
rät mit einer im Ultrahochvakuum zu betreibenden Teil-  
chenquelle und einer Präparatkammer die mit variablen  
Drücken bis 1 hPa betreibbar ist. Das erfindungsgemäße  
Teilchenstrahlgerät hat zwischen dem Ultrahochvakuum-  
bereich (6) und der Präparatkammer (1) genau zwei Zwi-  
schendruckbereiche (7), (8). Beide Zwi-  
schendruckbereiche (7), (8) werden mit Hilfe einer seriellen Pumpenanord-  
nung aus einer Vorpumpe (16) und zwei Turbomolekular-  
pumpen (13), (14), die u. a. jeweils zum Vorpumpen der  
anderen Pumpe dienen, evakuiert.  
Bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung dient die  
Vorpumpe (16) gleichzeitig auch zum Evakuieren der Prä-  
paratkammer. Bei einem alternativen Ausführungsbei-  
spiel ist eine zweite Vorpumpe (20) zum Evakuieren der  
Präparatkammer (1) vorgesehen. Mit dieser Anordnung  
ist das Ultrahochvakuum im Ultrahochvakuumbereich (6)  
bis zu Drücken von 100 hPa in der Präparatkammer (1)  
aufrecht erhaltbar.  
Das erfindungsgemäße Teilchenstrahlgerät findet insbe-  
sondere Anwendung als sogenanntes Variable Pressure  
SEM (VP-SEM) oder als sogenanntes ESEM.



DE 100 32 607 A 1

BEST AVAILABLE COPY

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Teilchenstrahlgerät mit einer im Ultrahochvakuum zu betrieblenden Teilchenquelle sowie eine kaskadenförmige Pumpenanordnung für ein entsprechendes Teilchenstrahlgerät.

[0002] In der US 5.828.094 ist ein sogenanntes Environmental Scanning Elektronenmikroskop (ESSEM) mit einer Feldemissionsquelle beschrieben. Derartige ESSEMs erlauben die elektronenmikroskopische Untersuchung von Proben unter normalem Atmosphärendruck oder gegenüber dem normalen Atmosphärendruck nur geringfügig reduzierten Druck. Da andererseits Feldemissionsquellen und auch die häufig als Feldemissionsquellen bezeichneten sogenannten Schottky-Emitter für ihren Betrieb ein Ultrahochvakuum benötigen, ist das gesamte Elektronenmikroskop als differenziell gepumptes System mit drei Zwischendruckstufen aufgebaut. Das Gesamtsystem weist demzufolge fünf Druckbereiche auf, die durch vier Druckstufen oder Druckstufenblenden voneinander getrennt sind. Neben dem Aufwand für die Pumpen resultiert aus dem für die Vakuumanschlüsse der drei Zwischendruckbereiche benötigten Bauplan ein zusätzlicher Bedarf an Bauhöhe, wie dieser allein für die elektronenoptischen Komponenten nicht erforderlich wäre.

[0003] Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein Kopuskularstrahlgerät, insbesondere ein Rasterelektronenmikroskop anzugeben, das trotz variablem Druck in der Probenkammer bis hin zu nahezu Umgebungsdruck und Ultrahochvakuum im Bereich der Teilchenquelle einen vereinfachten Aufbau aufweist. Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein Vakuumpumpensystem anzugeben, mit dem ein entsprechend vereinfachter Aufbau eines Kopuskularstrahlgerätes ermöglicht wird.

[0004] Diese Ziele werden erfindungsgemäß durch ein Teilchenstrahlgerät mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Pumpenanordnung gemäß Anspruch 10 erreicht.

[0005] Das erfindungsgemäße Teilchenstrahlgerät weist eine im Ultrahochvakuum zu betrieblende Teilchenquelle und eine Präparatkammer auf, die mit Drücken vom Hochvakuumbereich mit Drücken unter  $10^{-3}$  hPa bis mindestens 1 hPa (Hektopascal) betreibbar ist. Zwischen dem Ultrahochvakuumbereich der Teilchenquelle und der Probenkammer sind beim erfindungsgemäßen Teilchenstrahlgerät genau zwei weitere Druckbereiche vorgesehen.

[0006] Das erfindungsgemäße Teilchenstrahlgerät weist demgemäß genau vier Druckbereiche auf, nämlich den Ultrahochvakuumbereich, in dem die Teilchenquelle angeordnet ist, zwei Zwischendruckbereiche und die Präparatkammer. Insgesamt ergeben sich damit beim erfindungsgemäßen Teilchenstrahlgerät drei Druckstufen, für die drei Druckstufenblenden insgesamt erforderlich sind.

[0007] Um mit nur drei Druckstufen auszukommen, ist vorzugsweise der dem Ultrahochvakuumbereich benachbarte Druckbereich über eine Turbomolekularpumpe gepumpt. Weiterhin vorzugsweise ist der Auslaß dieser ersten Turbomolekularpumpe durch eine Vorpumpe oder zweite Turbomolekularpumpe vorgepumpt. Durch diese Pumpenanordnung wird der Druck in dem dem Ultrahochvakuumbereich benachbarten Druckbereich auf Werte größer  $10^{-6}$  hPa gehalten.

[0008] Bei einem weiterhin vorteilhaften Ausführungsbeispiel weist die zweite Turbomolekularpumpe einen zweiten Pumpenport auf, der an den der Probenkammer benachbarten Druckbereich angeschlossen ist. Die zweite Turbomolekularpumpe kann dadurch eine Doppelfunktion erfüllen, nämlich gleichzeitig den Auslaß der ersten Turbomolekularpumpe vorpumpen und außerdem den der Probenkammer

benachbarten Druckbereich evakuieren.

[0009] Weiterhin vorzugsweise ist eine Vorpumpe vorgesehen, durch die der Auslaß der zweiten Turbomolekularpumpe vorgepumpt ist. Diese Vorpumpe kann zusätzlich dazu dienen, die Präparatkammer auf den gewünschten Druck zu evakuieren. Soweit das Teilchenstrahlgerät auch bei Drücken oberhalb 5 hPa in der Probenkammer betreibbar sein soll, empfiehlt sich jedoch eine zweite Vorpumpe zur Evakuierung der Präparatkammer vorzusehen, so daß die erste Vorpumpe ausschließlich den Auslaß der zweiten Turbomolekularpumpe vorpumpt.

[0010] Eine erfindungsgemäße kaskadenförmige Pumpenanordnung für ein entsprechendes Teilchenstrahlgerät weist zwei Turbomolekularpumpen auf, von denen die zweite Turbomolekularpumpe zum Vorpumpen des Ausganges der ersten Turbomolekularpumpe dient.

[0011] Nachfolgend werden Einzelheiten der Erfindung anhand der in den Figuren beschriebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert.

[0012] Im einzelnen zeigen:

[0013] Fig. 1: Eine Prinzipskizze eines ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung für geringere Kammerdrücke und

[0014] Fig. 2: eine Prinzipskizze eines zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung für höhere Kammerdrücke.

[0015] In der Fig. 1 ist mit (1) die Präparatkammer und mit (2) die elektronenoptische Säule des Teilchenstrahlgerätes bezeichnet. Die elektronenoptische Säule (2) weist drei Druckbereiche (6), (7), (8) auf, die jeweils durch Druckstufenblenden (9), (10), (11) voneinander getrennt sind. Der geometrisch gesehen - oberste Druckbereich (6) der elektronenoptischen Säule (2) ist für die Aufrechterhaltung eines Ultrahochvakuums mit einem Druck kleiner  $5 \times 10^{-8}$  hPa ausgelegt. Dieser Ultrahochvakuumbereich wird über eine Ionengetterpumpe (12) evakuiert. In diesem Ultrahochvakuumbereich ist die Teilchenquelle (3) in Form einer Feldemissionsquelle bzw. eines Schottky-Emitters angeordnet. [0016] Zwischen dem Ultrahochvakuumbereich (6) und dem zu diesem benachbarten Zwischendruckbereich (7) ist der Kondensor (5) des Teilchenstrahlgerätes angeordnet, von dem in der Fig. 1 nur die Polschuhe angedeutet sind. Etwa in Höhe des oder - in Ausbreitungsrichtung der Elektronen gesehen - hinter dem Polschuhspalt der Kondensorlinse (5) ist die Druckstufenblende (9) angeordnet, die für die Aufrechterhaltung eines geeigneten Druckunterschiedes zwischen dem Ultrahochvakuumbereich (6) und dem zu diesem benachbarten Zwischendruckbereich (7) gewährleistet.

[0017] Auf den ersten Zwischendruckbereich (7) folgt ein zweiter Zwischendruckbereich (8), der von dem ersten Zwischendruckbereich (7) durch eine zweite Druckstufenblende (10) getrennt ist. Zwischen diesem zweiten Zwischendruckbereich (8) und der Präparatkammer ist die Objektivlinse (4) des Teilchenstrahlgerätes angeordnet, von der in der Fig. 1 ebenfalls nur die Polschuhe angedeutet sind. Zwischen oder - in Ausbreitungsrichtung der Elektronen gesehen - vor der Polschuhen der Objektivlinse (4) ist die dritte Druckstufenblende (11) angeordnet, die einen geeigneten Druckunterschied zwischen dem zweiten Zwischendruckbereich (8) und der Präparatkammer (1) sicherstellt.

[0018] Für die Einstellung geeigneter Vakuumbedingungen ist beim Ausführungsbeispiel der Fig. 1 neben der Ionengetterpumpe (12) für den Ultrahochvakuumbereich (6) eine kaskadenförmige Pumpenanordnung aus einer Vorpumpe (16) und zwei teilweise ebenfalls seriell geschalteten Turbomolekularpumpen (13), (14) vorgesehen. Die Vorpumpe (16) erfüllt dabei eine Doppelfunktion. Die Vorpumpe (16) dient einerseits zum Evakuieren der Präparatkammer (1) direkt über eine separate Rohrverbindung und gleichzeitig

zum Abpumpen des Ausgangs der ersten Turbomolekularpumpe (14). Die Evakuierung der Präparatkammer (1) ist daher über ein Ventil (17) in der Rohrverbindung regelbar. Der Druck in der Präparatkammer ist über ein nicht dargestelltes, regelbares Gaseinlaßventil einstellbar.

[0019] Die erste Turbomolekularpumpe (14) ist als leistungsstarke sogenannte Split-Flow-Pumpe ausgelegt und erfüllt eine Dreifachfunktion. Der Ansaugstutzen des inneren Turbinenbereiches ist über eine Rohrleitung (15) direkt an den zur Präparatkammer (1) benachbarten Zwischen-druckbereich (8) angeflanscht und sorgt dadurch für eine direkte Evakuierung dieses Zwischen-druckbereiches. Gleichzeitig ist der Ansaugstutzen des inneren Turbinenbereiches über ein zweites Ventil (19) unmittelbar an die Präparatkammer (1) angeflanscht. Der Ansaugstutzen des äußeren Turbinenbereiches der ersten Turbomolekularpumpe (14) ist weiterhin an den Auslaß der zweiten Turbomolekularpumpe (13) angeschlossen, so daß die erste Turbomolekularpumpe (14) zusätzlich zur Evakuierung des der Probenkammer (1) benachbarten Zwischen-druckbereiches (8) zum Vorpumpen der zweiten Turbomolekularpumpe (13) dient. Der Ansaugstutzen der zweiten Turbomolekularpumpe (13) ist an den zum Ultrahochvakuumbereich (6) benachbarten Zwischen-druckbereich (7) direkt angeschlossen.

[0020] Soweit vorstehend oder nachfolgend von einem direkten Anschluß einer Vakuumpumpe an einen Druckbereich gesprochen ist, ist damit gemeint, daß die durch diese Pumpe erfolgende Evakuierung des betreffenden Druckbereiches direkt erfolgt, also ohne daß die von dieser Pumpe abgepumpten Gasmoleküle zwischen dem betreffenden Druckbereich und dem Ansaugstutzen der Pumpe eine Druckstufenblende passieren müssen.

[0021] Das vorstehend beschriebene Vakuumsystem ist ein differentiell gepumptes Vakuumsystem mit insgesamt vier Druckbereichen.

[0022] Mit der beschriebenen kaskadenförmigen, seriell geschalteten Pumpenanordnung läßt sich mit Hilfe einer einzigen Ionengitterpumpe (12), den zwei Turbomolekularpumpen (13), (14) und einer einzigen Vorpumpe (16) ein Ultrahochvakuum mit Drücken kleiner  $5 \times 10^{-8}$  hPa in der Ultrahochvakuumkammer (6) bei Drücken zwischen 5 hPa und 107 hPa in der Präparatkammer (1) aufrechterhalten. Bei gewünschten Drücken in der Präparatkammer (1) zwischen  $10^{-2}$  hPa und 5 hPa ist dabei das Ventil (17) zwischen der Vorpumpe (16) und der Präparatkammer (1) geöffnet und das zweite Ventil (19) zwischen der ersten Turbomolekularpumpe (14) und der Präparatkammer (1) geschlossen. Das Vakuum in der Präparatkammer (1) ist dann ausschließlich durch das mit der Vorpumpe (16) erreichbare bzw. an dieser eingeregelter Vakuum bestimmt. Durch das Vorpumpen des Auslasses der zweiten Turbomolekularpumpe durch die erste Turbomolekularpumpe (14) und dadurch, daß die komplette Pumpleistung des inneren Turbinenbereiches der ersten Turbomolekularpumpe (14) ausschließlich zum Pumpen des der Präparatkammer benachbarten Zwischen-druckbereiches (8) dient, wird sichergestellt, daß in dem dem Ultrahochvakuumbereich benachbarten Zwischen-druckbereich (7) ein Vakuum zwischen  $10^{-5}$  und  $10^{-6}$  hPa aufrechterhalten wird.

[0023] Bei Drücken unter  $10^{-2}$  hPa in der Präparatkammer (1), die mit der Vorpumpe (16) nicht erreichbar sind, wird das erste Ventil (17) zwischen der Vorpumpe (16) und der Präparatkammer (1) geschlossen und das zweite Ventil (19) zwischen der Präparatkammer (1) und der ersten Turbomolekularpumpe (14) geöffnet. Die Vorpumpe (16) dient dann ausschließlich zum Vorpumpen der ersten Turbomolekularpumpe (14). Sowohl die Präparatkammer (1) als auch der der Präparatkammer (1) benachbarte Zwischen-druckbereich

(8) werden dann durch die erste Turbomolekularpumpe (14) direkt gepumpt. Die in der Objektivlinse (4) angeordnete Druckstufenblende (11) ist in diesem Fall ohne Wirkung. Durch die mit der ersten Turbomolekularpumpe (14) vorgepumpte zweite Turbomolekularpumpe (13) wird auch in diesem Fall in dem dem Ultrahochvakuumbereich (6) benachbarten Zwischen-druckbereich (7) ein Vakuum zwischen  $10^{-5}$  und  $10^{-6}$  hPa aufrechterhalten.

[0024] Damit bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel auch beim Öffnen der Präparatkammer (1) das Ultrahochvakuum im Ultrahochvakuumbereich (6) aufrechterhalten wird, ist innerhalb der elektronenoptischen Stütze, vorzugsweise zwischen dem Ultrahochvakuumbereich und dem dem Ultrahochvakuumbereich benachbarten Druckbereich (7) ein Absperrventil (18) vorgesehen, das vor dem Öffnen der Präparatkammer (1) geschlossen wird. Die Vorpumpe (16) und die beiden Turbomolekularpumpen (13), (14) können dadurch beim Öffnen der Präparatkammer (1) außer Betrieb gesetzt werden.

[0025] Das in der Fig. 2 dargestellte Ausführungsbeispiel entspricht im wesentlichen dem Ausführungsbeispiel in Fig. 1. Demzufolge sind in der Fig. 2 diejenigen Komponenten, die denen des Ausführungsbeispiels nach Fig. 1 entsprechen, mit identischen Bezugszeichen versehen. Soweit beide Ausführungsbeispiele übereinstimmen, wird bezug auf die vorstehende Beschreibung der Fig. 1 verwiesen.

[0026] Der wesentliche Unterschied zwischen dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 und dem nach Fig. 1 besteht darin, daß die Vorpumpe (16) beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 ausschließlich zum Vorpumpen der ersten Turbomolekularpumpe (14) dient, deren vorvakuumseitig Dragstufe wiederum zum Vorpumpen der zweiten Turbomolekularpumpe (13) dient. Zum Evakuieren der Präparatkammer (1) ist eine zweite Vorpumpe (20) vorgesehen, deren Pumpleistung wiederum über ein erstes Ventil (17) regelbar ist. Mit dieser alternativen Pumpenanordnung mit einer zweiten Vorpumpe (20) ist das Teilchenstrahlgerät unter Aufrechterhaltung des Ultrahochvakuum im Ultrahochvakuumbereich (6) auch bei Drücken in der Präparatkammer bis 100 hPa einsetzbar. Bei Kammerdrücken unter  $10^{-2}$  hPa in der Präparatkammer (1) wird sowohl die Präparatkammer (1) als auch der der Präparatkammer (1) benachbarte Zwischen-druckbereich (8) ausschließlich über die erste Turbomolekularpumpe gepumpt. In diesem Fall ist das erste Ventil (17) zwischen der zweiten Vorpumpe (20) und der Präparatkammer (1) geschlossen und das zweite Ventil (19) zwischen der ersten Turbomolekularpumpe (14) und der Präparatkammer (1) geöffnet. Bei Drücken zwischen  $10^{-2}$  um 100 hPa ist demgegenüber das erste Ventil (17) geöffnet, so daß die Präparatkammer (1) durch die zweite Vorpumpe (20) evakuiert wird, und das zweite Ventil (19) geschlossen. Der aufgrund der höheren Kammerdrücke stärkere Gasstrom zwischen der Präparatkammer und der der Präparatkammer (1) benachbarten Zwischen-druckkammer (8) wie bei diesem Ausführungsbeispiel dadurch abgefangen, da die erste Vorpumpe (16) ausschließlich zum Vorpumpen der ersten Turbomolekularpumpe (14) dient, die dadurch eine entsprechend erhöhte Förderleistung erhält. Auch in diesem Fall gewährleistet die durch die erste Turbomolekularpumpe (14) vorgepumpte zweite Turbomolekularpumpe (13) die Aufrechterhaltung eines Vakuums zwischen  $10^{-5}$  um  $10^{-6}$  hPa in dem an den Ultrahochvakuumbereich (6) angrenzenden Zwischen-druckbereich (7).

[0027] Bei dem in der Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel wird zwischen dem Ultrahochvakuumbereich (6) und der Präparatkammer eine Druckdifferenz von bis zu 10 Größenordnungen, also von  $10^{10}$  hPa über nur zwei Zwi-

schendruckbereiche aufrecht erhalten,

[0028] Grundsätzlich denkbar wäre es auch, wie beim zitierten Stand der Technik, auch den an den Ultrahochvakuumbereich angrenzenden Zwischendruckbereich (7) mittels einer zweiten Ionengitterpumpe zu evakuieren. In diesem Fall wäre dann der an die Präparatkammer (1) angrenzende Zwischendruckbereich mittels einer durch eine Turbomolekularpumpe vorgepumpte Turbomolekularpumpen zu evakuieren. Die zweite Ionengitterpumpe müßte dann jedoch mit sehr hoher Pumpleistung ausgelegt sein, wodurch wiederum wegen der größeren Abmessungen der Ionengitterpumpe eine größere Bauhöhe der elektronenoptischen Säule resultieren würde.

[0029] Weiterhin auch denkbar ist es, eine weitere Vorpumpe zum separaten Vorpumpen der zweiten Turbomolekularpumpe (13) vorzusehen.

Ausganges der weiteren Turbomolekularpumpe (14) vorgesehen ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Teilchenstrahlgerät, das eine im Ultrahochvakuum zu betreibende Teilchenquelle (3) und eine Präparatkammer (1) aufweist, die mit Drücken vom Hochvakuum mindestens bis zu 1 hPa betreibbar ist, und wobei zwischen dem Ultrahochvakuumbereich (6) der Teilchenquelle und der Probenkammer (1) genau zwei weitere Zwischendruckbereiche (7), (8) vorgesehen sind.
2. Teilchenstrahlgerät nach Anspruch 1, wobei der dem Ultrahochvakuumbereich (6) benachbarte Druckbereich mittels einer Turbomolekularpumpe (13) gepumpt ist.
3. Teilchenstrahlgerät nach Anspruch 2, wobei der Auslaß der Turbomolekularpumpe (13) durch eine weitere Turbomolekularpumpe (14) vorgepumpt ist.
4. Teilchenstrahlgerät nach Anspruch 3, wobei die weitere Turbomolekularpumpe (14) über einen zweiten Pumpenport gleichzeitig direkt an den der Präparatkammer (1) benachbarten Druckbereich (8) angeschlossen ist.
5. Teilchenstrahlgerät nach Anspruch 4, wobei eine Vorpumpe (16) vorgesehen ist, durch die der Auslaß der weiteren Turbomolekularpumpe (14) vorgepumpt ist.
6. Teilchenstrahlgerät nach Anspruch 5, wobei die Vorpumpe (16) über ein Ventil (17) direkt an die Präparatkammer (1) angeschlossen ist.
7. Teilchenstrahlgerät nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei die weitere Turbomolekularpumpe (14) zusätzlich über ein weiteres Ventil (19) direkt an die Präparatkammer (1) angeschlossen ist.
8. Teilchenstrahlgerät nach Anspruch 5, wobei eine zweite Vorpumpe (20) vorgesehen und an die Präparatkammer (1) angeschlossen ist.
9. Teilchenstrahlgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei eine Ionengitterpumpe zum Evakuieren des Ultrahochvakuumbereiches (6) vorgesehen ist.
10. Kaskadenförmige Pumpenanordnung für ein Teilchenstrahlgerät mit zwei Turbomolekularpumpen (13), (14), wobei die Dragsstufe einer Turbomolekularpumpe an den Auslaß der zweiten Turbomolekularpumpe (13) angeschlossen ist.
11. Pumpenanordnung nach Anspruch 10, wobei die die weitere Turbomolekularpumpe (13) vorpumpende Turbomolekularpumpe (14) zusätzlich an einen Zwischendruckbereich (8) des Teilchenstrahlgerätes zu dessen Evakuierung angeschlossen ist.
12. Pumpenanordnung nach Anspruch 10 oder 11, wobei eine weitere Vorpumpe (16) zum Vorpumpen des

Fig 1

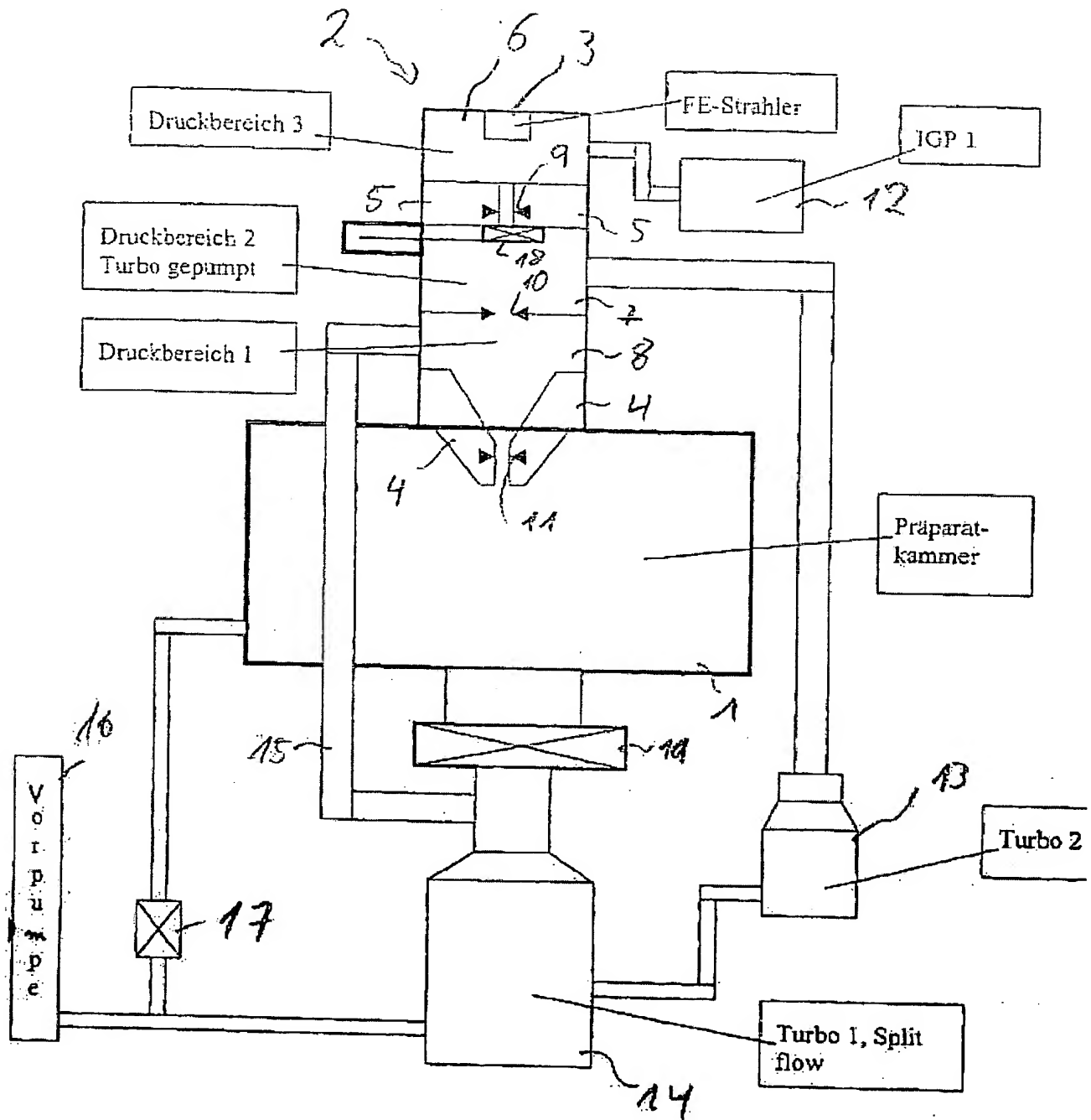
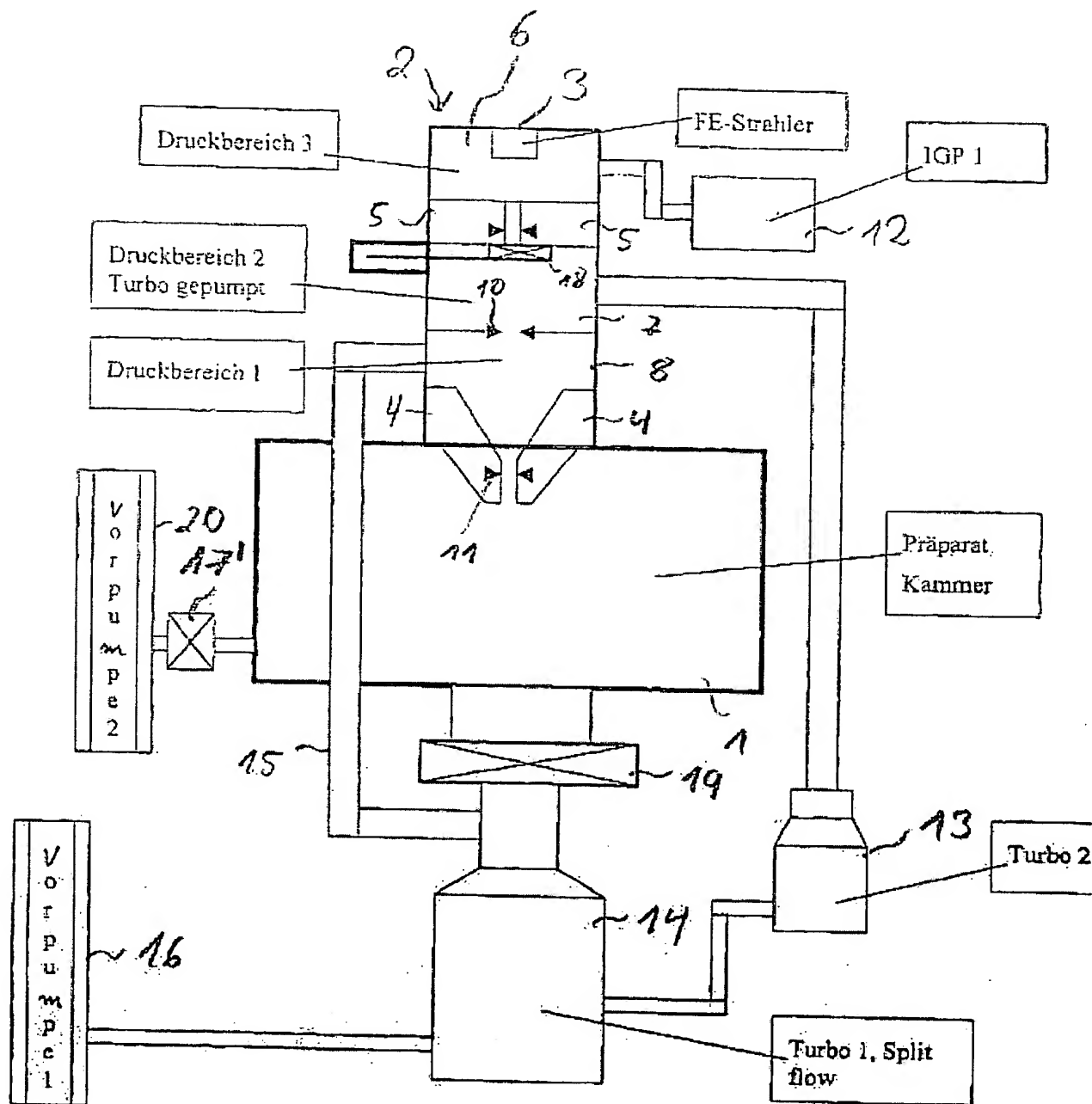


Fig 2



BEST AVAILABLE COPY